

## **EFFECTOS DE LOS VIENTOS EXTREMOS EN LA REGION NE ARGENTINO**

Ma. Sandra Udrizar Lezcano<sup>1</sup>; Mario E. De Bórtoli<sup>2</sup>, Jorge O. Marighetti<sup>3</sup>  
Laboratorio de Aerodinámica- Facultad de Ingeniería -Universidad Nacional del Nordeste (UNNE)  
Av. Las Heras 727 – Resistencia –Chaco  
TE: 03722- 439039. E-mail: sudrizar@ing.unne.edu.ar

**RESUMEN:** El presente trabajo expone las diferencias básicas entre dos tipos de vientos, uno que se desarrolla sobre grandes extensiones y es el considerado en normas y códigos de viento utilizados para el cálculo estructural y determinación del potencial eólico en una región; y otros tipos de vientos, denominados tormentas verticales, los que han provocado con frecuencia creciente fallas en los sistemas de transmisión de energía. Estos últimos son de naturaleza transitoria y espacialmente localizadas, lo que dificulta su registro; haciendo imperioso su adecuado modelado. Se presentan aquí algunos modelos analíticos de estas tormentas y se los contrasta con los resultados de una primera simulación efectuada en este laboratorio, encontrándose un ajuste adecuado. Se destaca asimismo la dificultad referida a la escala de simulación obtenida, y se presenta un nuevo diseño de túnel de viento que permita modelar adecuadamente estos eventos y ponderar sus efectos.

**Palabras clave:** energía, viento, tormentas verticales, túnel de viento

### **INTRODUCCIÓN**

Se considera viento a toda masa de aire en movimiento, que surge como consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre. Esto implica que la masa de aire es desplazada sobre la superficie cientos de kilómetros, alcanzando un estado de equilibrio dinámico con la rugosidad superficial, prevaleciendo la turbulencia de tipo mecánica respecto a la convectiva. Los movimientos atmosféricos ocurren sobre un amplio rango de escalas, y las fluctuaciones de la variable atmosférica (viento) se presentan desde fracciones de segundo hasta cientos de años. Estos movimientos atmosféricos producen por tanto grandes cantidades de energía cinética. Naturalmente resulta necesario conocer de qué forma se distribuye la energía contenida en el viento según estas distintas escalas, para ello se recurre al espectro de potencia de Van der Hoven (Van der Hoven, 1957).

La velocidad del viento es el factor determinante para definir el potencial eólico de una determinada región, por estar la potencia generada por el viento en proporción del cubo de la velocidad, y además es básica para determinar las cargas a las que se verá sometida una estructura en su vida útil. Así, resulta necesario conocer de qué manera se distribuye la energía cinética de esta variable atmosférica sobre un cierto rango de periodos o longitudes de onda. En este sentido existe una extensa bibliografía referida al análisis de los vientos sinópticos, de su espectro de potencia, y su empleo para la determinación del potencial eólico y de las cargas generadas sobre las estructuras.

Desde el punto de vista estructural, la amplia información disponible respecto a estos vientos sinópticos permite obtener velocidades de viento de diseño aplicando modelos probabilísticos y la consideración del periodo de retorno. Sin embargo, es escaso el material disponible para el análisis de otro tipo de eventos denominados tormentas verticales (downburst), las que tampoco han sido contempladas en las normas empleadas para cálculo estructural. Compañías de transporte de energía eléctrica de Estados Unidos, Sud África y Argentina, entre otros, reportaron que las tormentas que causan daños de manera significativa están asociadas a vientos extremos transitorios provocados por desplazamiento de masas de aire descendentes (Goliger et al, 1998; Schwarzkopf, 1997). Estos vientos tienen altas componentes verticales y distribuciones horizontales que son muy diferentes de los vientos de capa límite.

Observaciones sugieren que las ráfagas de viento en estas tormenta son más correlacionadas espacialmente que las de capa límite, propiciando cargas mayores en estructuras largas tales como redes de transmisión de energía eléctrica, las que dada su particular configuración y extenderse por cientos de kilómetros son muy propensas a verse afectadas por estas tormentas, con el conocido perjuicio tanto económico como social que se produce ante la salida de servicio de algún tramo del sistema de transmisión de energía. Al respecto puede mencionarse que entre los años 1997-2003 fueron más de cuarenta las

---

<sup>1</sup> Maestrando Ing. c/ subsidio de la Universidad Nacional Del Nordeste, Facultad de Ingeniería, Argentina

<sup>2</sup> Prof. Dr., Universidad Nacional Del Nordeste, Facultad de Ingeniería, Argentina

<sup>3</sup> Prof. Msc., Universidad Nacional Del Nordeste, Facultad de Ingeniería, Argentina

torres derribadas por sucesos de este tipo en la zona NE de la Argentina, destacándose por ejemplo un evento ocurrido en octubre de 2008 y que provocara la caída de siete estructuras de alta tensión en inmediaciones de la ciudad de Resistencia, Chaco (Diario Norte 23/10/2008).

Si bien se ha llevado a cabo una extensa investigación en líneas de transmisión sometidas a cargas de viento sinóptico, su comportamiento bajo cargas de viento de alta intensidad, como el downburst, no está bien definido (Shehata et al, 2005).

En este trabajo se presentan algunos modelos analíticos desarrollados para estos eventos y se los contrasta con los valores obtenidos en la primera simulación realizada a nivel nacional para este tipo de tormenta, efectuada en el Laboratorio de Aerodinámica Jacek Gorecky de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). El método de simulación empleado fue el denominado "impinging jet", por su sencillez de implementación y su adecuada representación del flujo expansivo. Los resultados obtenidos fueron comparados con datos de ensayos experimentales previos disponibles en la literatura técnica y confirmaron la aplicabilidad del método y el equipo utilizado manteniendo la limitación, extensamente señalada por otros investigadores, en relación con la reducida escala geométrica obtenida. Para superar esta dificultad, se propone un nuevo diseño de túnel de viento, que permitirá reproducir además eventos transitorios.

## ESPECTRO DE POTENCIA. CARACTERIZACIÓN DEL VIENTO

Los vientos atmosféricos ocurren sobre un amplio rango de escalas, y en cada una de ellas posee características propias. En la Figura 1 se observa el espectro de potencia de Van der Hoven (Van der Hoven, 1957), donde se aprecian dos claros picos. Uno de ellos es el llamado "pico macro-meteorológico", que muestra la concentración de energía de un período de alrededor de 4 días, y el otro "pico micro-meteorológico", que tiene un pico de energía de alrededor de 1 min (Cook, 1985).

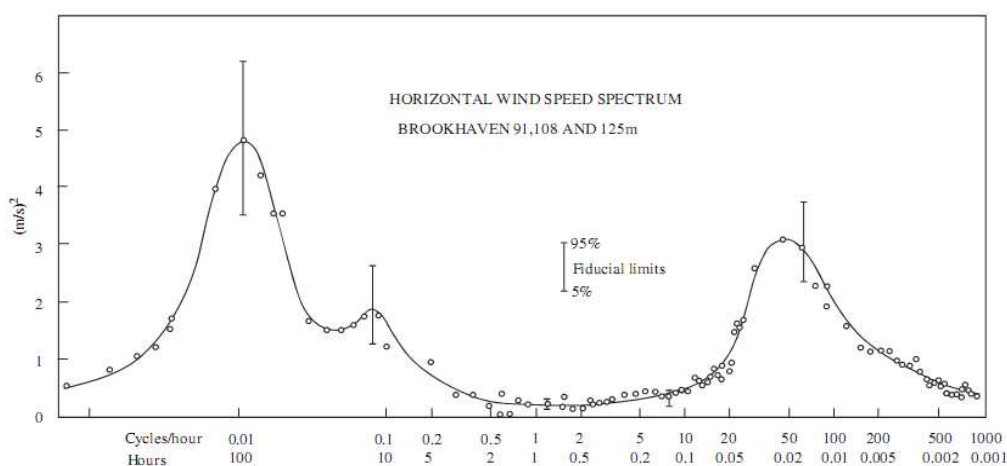


Figura 1: Espectro de potencia de Van der Hoven

El primero está relacionado con el movimiento de un sistema climático a gran escala, debido a las circulaciones globales, y el último relacionado a la turbulencia causada por efectos topográficos, la rugosidad del terreno, los obstáculos alrededor del lugar, etc. Entre los dos picos el espectro presenta una región denominada "brecha espectral" caracterizada por una disminución de la energía y una distribución en frecuencia constante. Esta particularidad permite considerar que las velocidades de viento en este rango de frecuencia se comportaran como sucesos estadísticamente independientes (ruido blanco) de valores aproximadamente constantes. La inclusión del pico macro meteorológico se efectúa a través de modelos probabilísticos y la incorporación del pico micro meteorológico mediante el concepto de ráfagas

Por lo expuesto la velocidad del viento en un punto del espacio puede ser expresada como la suma de una velocidad media de dirección paralela al eje de desplazamiento del viento y una velocidad de agitación turbulenta con componentes en las tres direcciones de un triedro de referencia. El término velocidad media indica un promedio en un cierto intervalo de tiempo, la adopción de dicho intervalo se ha justificado en la particular distribución de la energía del viento (Meseguer et al., 2001). La velocidad media se calcula en nuestro país sobre un periodo de 10 minutos a 10 metros de altura, aunque no habrá un error sensible utilizando otros periodos comprendidos en el valle espectral.

Los códigos de viento utilizados para determinar las cargas sobre estructuras consideran que las solicitaciones máximas se producen cuando son expuestas a tormentas provocadas por el desplazamiento de masas de aire en dirección prevaleciente horizontal (Chay et al., 2006). Este tipo de escurrimiento ocurre en atmósfera neutralmente estable, provocado por gradientes de presiones que abarcan grandes áreas (escalas sinópticas), con velocidades fluctuantes provocadas por turbulencia mecánica (rugosidad superficial) y velocidades medias que aumentan progresivamente con la altura hasta alcanzar la altura gradiente. Una de las expresiones analíticas usualmente utilizadas para determinar los perfiles verticales del viento en la capa límite atmosférica es del tipo potencial y relaciona la velocidad del viento a una altura de referencia con otra altura variable y un exponente que caracteriza el tipo de rugosidad superficial del terreno circundante. En las figuras 2 y 3 se muestra el perfil de velocidades medias e intensidad de turbulencia para este tipo de evento, obtenidas en simulaciones efectuadas en el túnel de viento Jacek Gorecky (De Bórtoli et al, 2002; Wittwer y Möller, 2000).

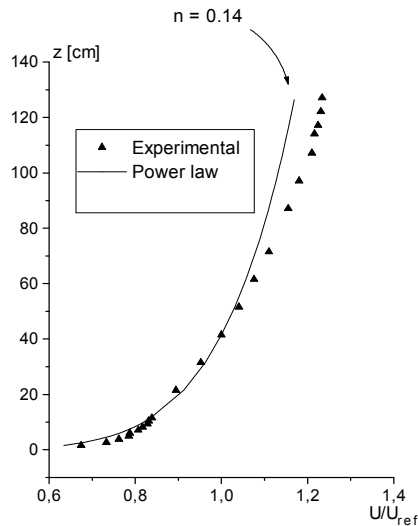


Figura 2: Perfil de velocidades medias

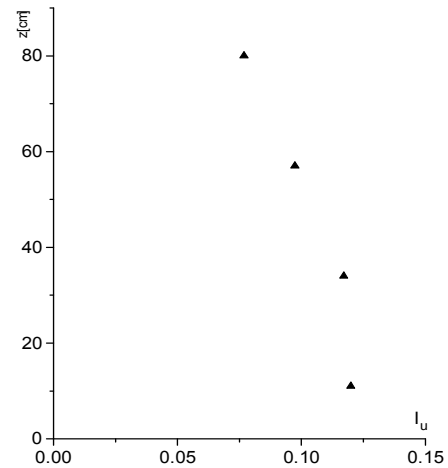


Figura 3: Intensidad de turbulencia

Desde el punto de vista estructural el cálculo de las redes de transmisión se basa en normas y/o códigos de viento, la mayoría de los cuales consideran que las cargas actuantes sobre las estructuras son provocadas por vientos originados por sistemas de presión plenamente desarrollados (tormentas extra tropicales) y muy pocos advierten sobre otros tipos de tormentas (De Bórtoli et al, 2009; Schwarzkopf, 1997).

Este hecho enfatiza la necesidad de profundizar el conocimiento del comportamiento de las líneas de transmisión ante estos vientos de elevada intensidad para desarrollar procedimientos que puedan emplearse en el diseño de éstas estructuras. Esta situación ya fue advertida en el Congreso de Wind Engineering realizado en Italia (1998), donde se identificó un área que comprende NE de Argentina, Sur de Brasil y Paraguay como una región donde es frecuente este tipo de eventos correspondiente a tormentas intensas, localizadas y transitorias (Figura 4). Estos eventos, por ser muy localizados anteriormente eran, con frecuencia inadvertidos, pero debido a la densificación de urbanización y el mayor despliegue tanto de los sistemas de transmisión, como los de generación de energía, actualmente sus efectos deben ser considerados.

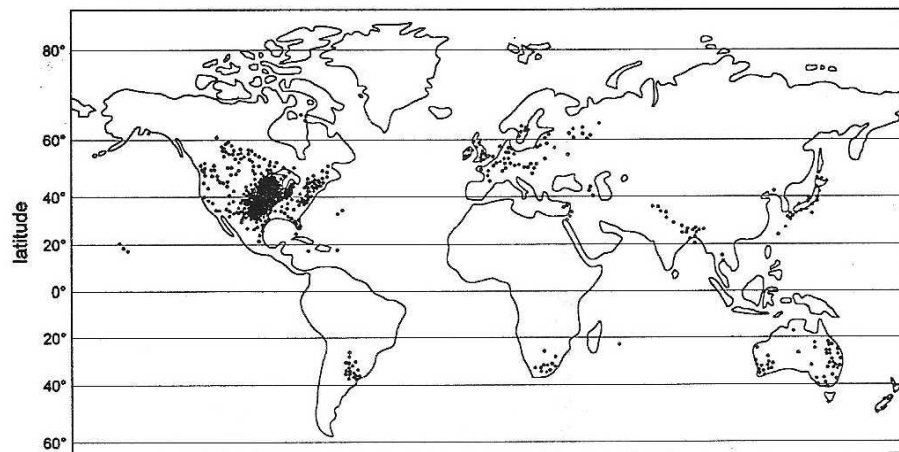


Figura 4: Ocurrencia de Tormentas Severas (Goliger & Milford, 1998)

## MODELADO DE TORMENTAS VERTICALES

En las tormentas eléctricas (thunderstorms) pueden formarse los denominados Microburst, sucesos en los que el peso de la precipitación y el enfriamiento debido a procesos físicos generan aceleraciones de corrientes de aire descendentes. Los microbursts son caracterizados por flujos descendentes intensos en presencia de tormentas eléctricas y que al impactar sobre el suelo generan un flujo expansivo horizontal de fuertes vientos cerca la superficie (Fujita, 1985).

Al tratarse de un evento climático tan localizado, su estructura, escala e intensidad no pueden medirse fácilmente en procesos reales mediante las estaciones de registro convencionales. (Orwig y Schroeder, 2007). Esto es muy diferente de lo que ocurre

con los vientos de gran escala, en los que toda un área de referencia, del sistema de transmisión, o de un parque de generación eólico, etc., está sujeta a condiciones de viento similares. (Shehata et al, 2005; Lance y Veers, 2009)

Las magnitudes de las variables que definen la escala del fenómeno de las corrientes descendentes originadas en tormentas eléctricas (Thunderstorms - TS), como ser el diámetro del chorro de las masas de aire inicial descendente, la altura desde la superficie donde se genera el descenso, las condiciones meteorológicas prevalecientes en la base de la nube son aún especulativas. Lo que se conoce es que este fenómeno produce aceleraciones de aire muy intensa y en tiempo muy cortos. Debido a la complejidad del fenómeno a escala natural, para su análisis se desarrollaron métodos de reproducción física mediante la implementación de chorros de aire que impactan sobre una superficie plana y modelados numéricos de escurrimientos de chorros en contacto sobre una superficie plana generando esfuerzos corte. (Letchford et al, 2002).

Aunque las evidencias demostraron que la simulación física y numérica de este tipo de evento se encuadra en el fenómeno de vórtices radiales (vortex ring model), los perfiles de velocidades medias con la altura obtenidos por modelos de simulación de chorro de impacto sobre superficies planas (impinging wall jet model) verificaron similaridad con registros de eventos en escala natural. Este hecho y la sencillez constructiva motivaron su amplia utilización en los laboratorios experimentales (De Bórtoli et al, 2009).

En este tipo de tormenta, debido a la corta trayectoria del desplazamiento de las masas de aire sobre la superficie, la rugosidad superficial no influye en la forma del perfil vertical de velocidades medias con la altura. El perfil de velocidades medias, ráfagas e intensidad de turbulencia son diferentes de los provenientes de tormentas estacionarias y, en consecuencia, no serán aplicables los métodos probabilísticos tradicionalmente empleados en la determinación de las cargas máximas (De Bórtoli et al, 2008).

## PRINCIPALES MODELOS ANALITICOS

Numerosos investigadores han propuesto diversos modelos numéricos tendientes a reproducir la velocidad media de una tormenta vertical. Los primeros modelos fueron desarrollados por meteorólogos y posteriormente, el interés se centró en explicar accidentes aéreos ocurridos en presencia de vientos cuya acción difería notablemente del viento atmosférico. En esta línea Oseguera y Bowles (Oseguera y Bowles, 1988) desarrollaron un modelo analítico simple para una tormenta vertical estacionaria. El mismo produce un campo de vientos axisimétrico y no incluye los vórtices. Se reproducen las componentes radial y vertical de la velocidad del viento en forma separada para cualquier punto del espacio. El flujo se considera independiente del tiempo, se asume incompresible y libre de la acción de fuerzas y momentos externos. El perfil vertical de la velocidad es expresado por la siguiente ecuación:

$$V(z) = \left( \frac{\lambda R^2}{2r} \right) \left( 1 - e^{-\left(\frac{r}{R}\right)^2} \right) \left( e^{-z/z^*} - e^{-z/\epsilon} \right) \quad (1)$$

Siendo  $V(z)$  la máxima velocidad de viento a la altura  $z$ ,  $r$  la coordenada radial desde el centro de la tormenta descendente,  $\lambda$ : factor de intensidad de escala con dimensión  $[T]^{-1}$ ,  $z^*$  altura característica fuera de la capa límite,  $\epsilon$  altura característica dentro de la capa límite, y  $R$  radio característico del escurrimiento descendente.

Basándose en registros disponibles de eventos en escala real Vicroy (1992) modifica algunos parámetros de la expresión de la velocidad para lograr un mejor ajuste surgiendo el denominado modelo de Oseguera, Bowles y Vicroy (OBV). Este modelo incluye el efecto de la fricción en proximidades del suelo, manteniendo la limitación de los modelos anteriores de no modelar apropiadamente el crecimiento de la capa límite. Esto último deriva de que los vórtices en la superficie no son incluidos en el modelo y experimentalmente se demostró que la misma crece a medida que el flujo se aleja del centro de divergencia, y está influenciada por la presencia de vórtices anulares primarios y secundarios (Chay&Letchford ,2002; Choi,2004).

Wood y Kwok (Word et al, 2001) desarrollaron una expresión empírica para predecir el perfil de velocidades radiales del viento en la región de flujo plenamente desarrollado sobre terreno plano. La expresión analítica se expresa en función de la altura donde la velocidad adquiere un valor igual a la mitad del valor máximo y una función del error. Mediciones en túnel de viento confirmaron que este modelo describe adecuadamente el perfil de velocidades a distancias mayores de 1,5 el diámetro del chorro.

Los investigadores Chay y Albermani (Chay et al, 2006) sugirieron algunas modificaciones al modelo OBV surgiendo el modelo conocido como OBV modificado que introduce la variación de las velocidades en el tiempo e involucra la máxima velocidad del perfil  $V_{r,max}$ , la escala de longitud radial  $R_r$ , la distancia radial desde la zona de estancamiento hasta la zona de máxima velocidad  $r_{max}$  y la distancia desde el punto de estancamiento a la estación de medición  $r$ .

Holmes y Olivier (Holmes, J. D.; Oliver, S. E.; 2000) por su parte desarrollaron un modelo empírico basado en el análisis de eventos reales, orientado a la determinación de sus dimensiones físicas y al desarrollo de un modelo de cargas por acción del viento, especialmente para el diseño estático de líneas de transmisión de energía. El modelo solamente evalúa la componente horizontal del viento a una altura dada, próxima al suelo. El mismo incluye el efecto de la velocidad de traslación del downburst mediante dos componentes: la velocidad radial del flujo vertical y la velocidad de traslación de la tormenta, y además considera una componente temporal que modela las distintas etapas de madurez del evento. La hipótesis básica es que la velocidad radial aumenta linealmente con la distancia radial desde el punto de estancamiento, hasta la velocidad

máxima, e incluye la región de decaimiento de la velocidad mediante un modelo exponencial en función del tiempo para un evento con tiempo de duración  $T$ .

Zhu y Etkin (1985) realizaron un modelo estacionario para determinar el campo de velocidades en una tormenta eléctrica referido a la seguridad aeronáutica. El mismo fue motivado por informes de la Administración Federal de Aviación (FAA) que revelaban que numerosos accidentes relacionados a aeronaves en momentos de aterrizajes o decolaje estaban relacionados a tormentas eléctricas en el momento del incidente; y permite obtener el vector velocidad en sus tres componentes en función de la posición, simulando un flujo de masa de aire descendente, determinados por parámetros que dependen de la distribución de velocidades medias e intensidad de la turbulencia.

Posteriormente Ponte y Riera (2007) desarrollaron un modelo semi empírico que supone las siguientes premisas: existencia de una nube cumulimbus, estacionaria, con campo de velocidades axi-simétrico y parámetros físicos como; presión estática constante; velocidad y dirección del viento de fondo; altura del suelo al centro de la nube; diámetro de la nube y tiempo característico de la tormenta. El mismo fue utilizado para simular datos en estaciones meteorológicas, evidenciando una buena aproximación con las velocidades registradas en las estaciones analizadas.

## COMPARACION DE RESULTADOS

En base a experiencias efectuadas por otros investigadores (Lin, 2004; Wood et al, 2001; Choi, 2007) se desarrolló en el Laboratorio de Aerodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE un equipamiento destinado a generar chorros de aire que al impactar sobre una superficie generan escurrimientos similares a las tormentas verticales descendentes. El arreglo experimental empleado se observa en Figura 5, la distancia ( $z$ ) de la superficie de impacto (2,40mx1,20m) a la boca del tubo se mantuvo en 483 mm, la velocidad del flujo de aire fue de aproximadamente 33 m/seg., y la intensidad de turbulencia del orden del 4%. A los efectos de adimensionalizar las representaciones gráficas obtenidas, para permitir su comparación directa con ensayos efectuados por otros investigadores, se emplean las relaciones  $z/D$  y  $X/D$ , que vinculan la distancia perpendicular a la superficie de impacto ( $z$ ) y a la distancia radial ( $X$ ) con el diámetro del jet que impulsa el flujo de aire. La proporción  $z/D$  utilizada en la realización del ensayo fue adoptada por encontrarse en el rango de valores de las tormentas verticales pequeñas que oscila entre 0,75 y 7,5 de acuerdo a lo afirmado por Segupta y Sarkar (2008).

La aplicabilidad del arreglo experimental fue verificada midiendo velocidades medias y fluctuantes en el chorro vertical descendente de aire y en su escurrimiento radial, así como las presiones estáticas sobre la superficie de impacto. Esta metodología permitió contrastar los valores obtenidos con datos señalados en literatura técnica actual (De Bórtoli et al, 2009). Para obtener el perfil de velocidades verticales se posicionó un tubo de Pitot-Prandtl, conectado a un micro manómetro tipo Betz, en distintas posiciones radiales definidas por un valor  $X/D$  que varía entre 0 y 5 y seguidamente se efectuaron las mediciones desplazando el Pitot-Prandtl entre 2mm y 450 mm de la superficie para cada valor de  $X/D$ . También se realizaron mediciones con anemómetro de hilo caliente para comprobar las velocidades axiales bajo el chorro, así como los perfiles de velocidad radial a diferentes distancias,  $X/D$ .

La distribución de velocidades obtenidas para dos posiciones de medición  $X/D$  se contrastaron con los modelos analíticos de Oseguera y Bowles (OB); Oseguera, Bowles y Vicroy (OBV) y el modelo de Wood (W) evidenciando un buen ajuste (Figura 6 ). Del mismo modo puede notarse la dificultad para determinar físicamente los valores de velocidad para alturas muy pequeñas, inconveniente extensamente referido en publicaciones anteriores y asociadas a limitaciones inherentes a las disponibilidad del equipamiento experimental utilizado y a la concepcion de la reproduccion experimental. Dado que la escala de simulación que puede lograrse en este tipo de ensayo está determinada principalmente por el diámetro y la velocidad del jet utilizado para generar el chorro de aire.

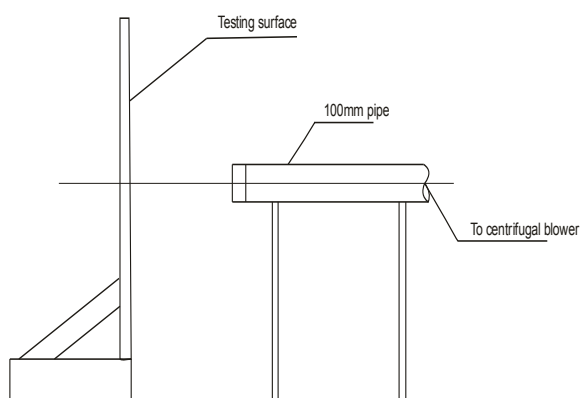


Figura 5: Esquema del diseño experimental empleado.

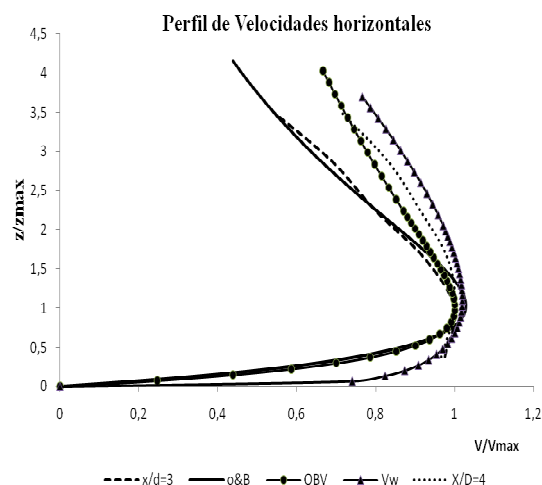


Figura 6: Perfiles de Velocidades horizontales de Tormentas Verticales determinados analítica y experimentalmente.

La simulación efectuada corresponde a una escala aproximada 1:18000 a partir de observaciones Hjelmfelt (1988), quien caracterizo la estructura de los *downbursts*. Pero en vista que las dimensiones de las tormentas a gran escala son valores promedio, la simulación actual puede en realidad representar una gran variedad de escalas.

Con este tipo de simulación se reproduce el fenómeno completo, comparándose dimensiones en escala natural de kilómetros de longitud con el diámetro del chorro, del orden de los centímetros, evidenciándose el inconveniente de las reducidas escalas de simulación obtenidas. Una alternativa sería aumentar las dimensiones del ventilador y las velocidades del fluido tanto como se pueda, con la esperanza de obtener escalas de simulación convenientes para ser utilizadas en el área estructural.

Para superar las limitaciones expuestas se propone introducir una primera restricción al evento completo, la de reproducir solamente la parte del mismo contenido en el plano bidimensional de la estructura. Con ello, se dispondría de mayor masa de aire para aumentar las velocidades, pero aún se conserva la restricción de que en el plano se reproduce en altura el espesor total de las tormentas verticales, lo que mantendría la limitación del equipamiento en avanzar en el aumento de las escalas de simulación. Si se considera que a los fines estructurales sería imprescindible reproducir solamente el espesor de flujo donde se desarrollan las máximas velocidades, este esquema de análisis evidencia similitud con la idea de espesor útil de simulación en túnel de viento convencional. Así, se propone el diseño experimental expuesto en la Figura 7, como una combinación de túnel de viento de capa límite con tormentas verticales descendentes. (De Bórtoli et al, 2009)

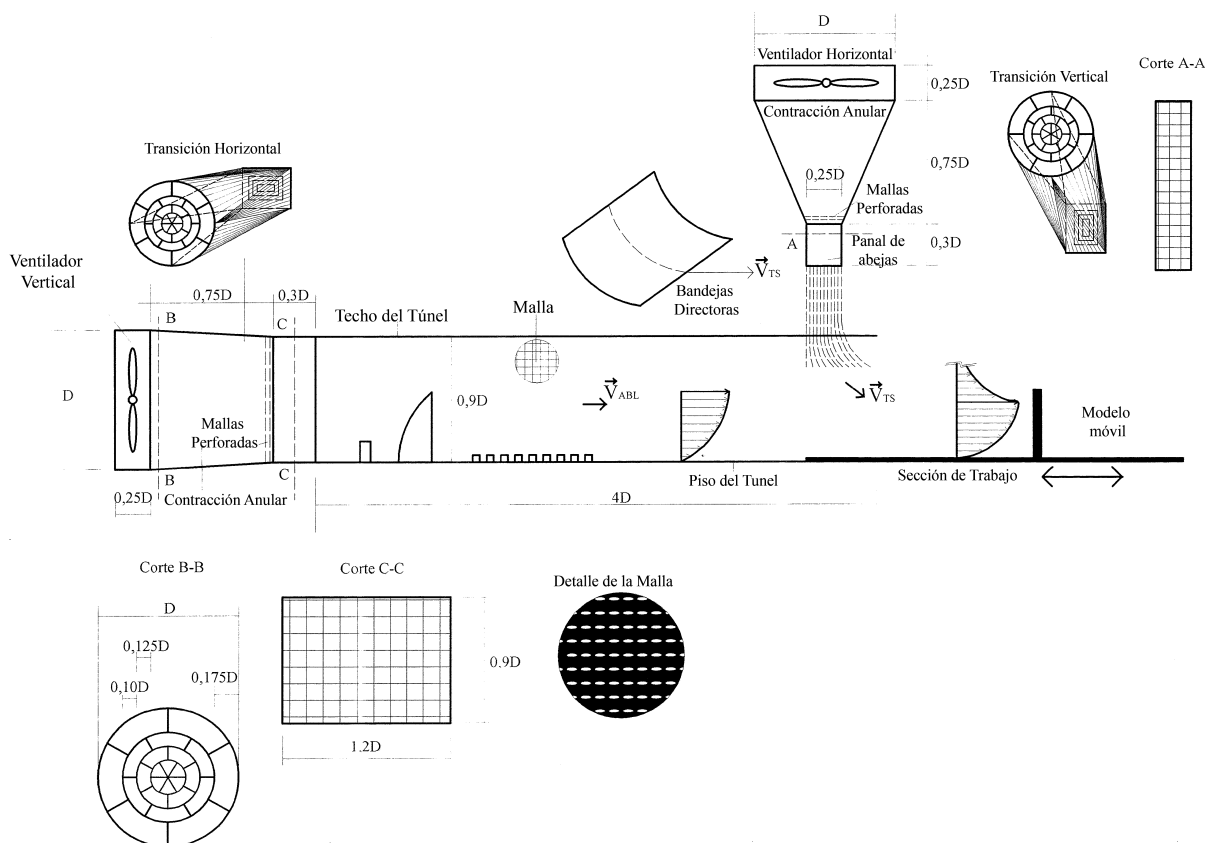


Figura 7: Bosquejo del diseño del túnel de viento para incorporar eventos transitorios.

## CONCLUSIONES

Diversos estudios señalan que son numerosos en nuestra región los eventos extremos que se producen y prueba de su efecto devastador es el elevado número de colapsos de torres de sistemas de transmisión de energía registrados regularmente.

Dadas las particulares características de las tormentas verticales que dificultan el acceso a registros de eventos reales, y que tornan inaplicables los métodos tradicionales para la verificación de las estructuras ante los efectos de carga de viento debida a valores máximos determinados por métodos probabilísticos; y al mismo tiempo su identificación cada vez mas frecuente en relación a fallas en los sistemas de transmisión de energía, en parques de generación eólica, en cultivos en invernaderos de techos livianos, etc., surge claramente la necesidad de modelar este tipo de evento tanto física como analíticamente.

Los resultados obtenidos al modelar experimentalmente el evento de masas de aire descendentes con un ventilador colocado paralelo a la superficie, generando chorros de aire que al impactar sobre la superficie generan flujos divergentes desde la región de impacto, fueron consistentes con los valores reportados en mediciones en escala natural. Los resultados confirman las diferencias anteriormente señaladas con respecto al perfil de velocidades de capa límite y asimismo ratifican que estos vientos poseen velocidades horizontales que presentan sus máximos en las proximidades del suelo, provocando sobre las

estructuras un estado de cargas muy distinto del que se produce para vientos sinópticos, con lo que la probabilidad de actuar sobre estructuras como las torres de energía se hace mayor, justificándose plenamente la necesidad de modelar físicamente el evento de manera tal de obtener mayores escalas de simulación para evaluar la respuesta de las estructuras ante este nuevo estado de carga. Para superar estas dificultades este trabajo presentó un diseño de un nuevo túnel de viento que permitiría reproducir a escala reducida estos fenómenos transitorios y localizados en escala geométrica usualmente aplicadas a ensayos en túnel de viento con modelos reducidos.

## REFERENCIAS

- Cook D N. J. (1985): *The designer's guide to wind loading of building structures. Part 1: Background, damage survey, wind data and structural classification*. Building Research Establishment., Londres, Inglaterra.
- Chay, M. T.; Letchford, C. W. (2002) : *Pressure distributions on a cube in a simulated thunderstorm downburst – Part A: stationary downburst observations*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 90 711-732
- Chay, M. T.; Albermani, F.; Hawes, H.(2006): *Wind loads on transmission line structures in simulated downbursts*. First World Congress on Asset Management. July, 2006.Gold Coast, Australia
- Chen, L. ; Letchford, C.W. (2004): *A deterministic–stochastic hybrid model of downbursts and its impact on a cantilevered structure*. Engineering Structures 26 pp 619–629
- De Bórtoli, M. E; Marighetti, J. O.; Udrizar Lezcano, Ma. S.(2009): *Strong Atmospheric Wind Over Electric Transmission Tower Approaching*. International Seminar on Modeling and Identification of Structures Subjected to Dynamic Excitation. Emphasis to Transmission Lines. 12 - 14 de julho de 2009. Bento Gonçalves – Brasil
- De Bórtoli M., Ponte Jacinto, Jr., Riera J., Marighetti J., Udrizar Lezcano, M. S. (2008): *Sobre la caracterización de vientos producidos por tormentas eléctricas y su utilización en Ingeniería*; Proceedings 1º Jornadas Sudamericanas de Ingeniería del Viento Montevideo, Uruguay,. Pub. en CD
- De Bórtoli, M.; Natalini, B.; Paluch, M. J.; Natalini, M. B. (2002): *Part-Depth Wind Tunnel Simulations of the Atmospheric Boundary Layer*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 90 pp. 281-291.
- Goliger, A.M; Milford, R.V(1998):*A review of worldwide occurrence of tornadoes*. J.W. Eng. Ind.Aerod.74–76, pp.111–121
- Fujita TT.(1985): *The Downburst. Report of Projects NIMROD and JAWS*, University of Chicago.
- Hjelmfelt MR. “Structure and life cycle of microburst outflows observed in Colorado.” J Appl Met 1988; 27:900–27
- Holmes, J.D.; Oliver, S. E.(2000):*An empirical model of a downburst*, Eng. Struct. 22 1167–1172
- Lance, M; Veers, P.(2009): *A Framework for the Reliability Analysis of Wind Turbines against Windstorms and Non-Standard Inflow Definitions*. 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition. 5 - 8 January 2009, Orlando, Florida
- Letchford, C.W., Mans, C., Chay, M.T. (2002): *Thunderstorms—their importance in wind engineering (a case for next generation wind tunnel)*. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 90. 1415–1433.
- Lin, W E; Novacco, C ; Savory, E.(2004) : *Transient simulation of a microburst outflow: Review and proposed new approach*, CSME Forum 2004, Kananaskis, Calgary, Canada.
- Mason, M.; Letchford, C.W.; James, D. (2005): *Pulsed jet simulation of a stationary thunderstorm downburst, Part A: Physical structure and flow field characterization*. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 93, 557–580.
- Meseguer Ruiz, J; Sanz Andrés, A.; Perales Perales, J. M. ; Pindado Carrión, S. (2001) :*Aerodinámica Civil. Cargas de Viento en las Edificaciones*. McGraw Hill.
- Orwig, K.D. ; Schroeder, J.L. (2007): *Near-surface wind characteristics of extreme thunderstorm outflows*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 95 565–584.
- Oseguera, R. M; Bowles R. L.(1988): *A simple, analytic 3-dimensional downburst model based on boundary layer stagnation flow*. N.A.S.A. Technical Memorandum 100632.
- Savory, E; Parke,G.; Zeinoddini, M; Toy, N. ; Disney, P. (2001): *Modelling of tornado and microburst-induced wind loading and failure of a lattice transmission tower*, Eng. Struct. 23 365–375.
- Ponte Jr., J.; Riera, J. D. (2007):*Wind velocity field during thunderstorms*. Wind and Structures. Vol 10 .Nº3
- Schwarzkopf Altinger de, (1997):“High intensity winds”, invited paper, *Fourth Asia-Pacific Symposium on Wind Engineering, Gold Coast, Australia, 14–16 July, 1997*
- Shehata, A.Y.; El Damatty A.A, Savory E. (2005): *Finite element modeling of transmission line under downburst wind loading*. Finite Elements in Analysis and Design 42 71–89.
- Sengupta, A.; Sarkar, P.P.(2008): *Experimental measurement and numerical simulation of an impinging jet with application to thunderstorm microburst winds*. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 96, (3), 345–365.
- Van der Hoven, I.(1957): *Power Spectrum, of horizontal wind in the frequency range from 0,0007 to 900 cycles per hour*. Journal of Meteorology. Vol. 14 Pp 160-164.
- Wittwer,A., Möller,S. (2000):*Characteristics of the low speed wind tunnel of the UNNE*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 84 (3) pp. 307-320.
- Wood, G.S., Kwok, K.C.S., Motteram, N.A.; Fletcher, D.F. (2001).: *Physical and numerical modelling of thunderstorm downbursts*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 89. pp.532-552.
- Zhu, S.; Etkin B. (1985): *Model of the wind field in a downburst*. J. Aircr. 22 pp. 595–601

**ABSTRACT:** This paper explains the basic differences among two types of wind, one that develops over large areas and is considered in wind standards and codes used for structural computation and also for determination of the wind potential in a region, and other types of winds, called vertical storms or downburst, which have often produced failures in power transmission systems. The latter are by nature transient and spatially localized, making it difficult to register, compelling its proper modeling. Presented here are some analytical models of these storms and the contrasts with the results of a first simulation conducted in this laboratory, finding a proper fit. Also highlights the difficulty refers to the scale of simulation obtained, and presents a new design of wind tunnel that allows these events to adequately model and weigh its effects.

**Keywords:** energy, wind, downbursts, wind tunnel